



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift  
⑩ DE 42 43 284 C 2

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 B 7/012  
G 01 B 7/34  
G 01 B 21/04

②① Aktenzeichen: P 42 43 284.7-52  
②② Anmeldetag: 21. 12. 92  
②③ Offenlegungstag: 30. 6. 94  
②④ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 12. 9. 98

DE 42 43 284 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑦② Erfinder:  
Bartzke, Karlheinz, 07747 Jena, DE; Seydel,  
Eberhard, 74924 Neckarbischofsheim, DE; Antrack,  
Torsten, 12683 Berlin, DE

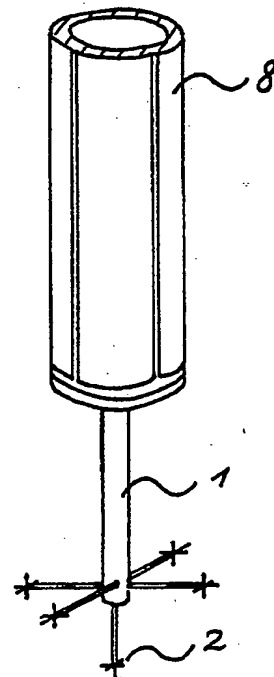
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 30 50 013 C2  
DE 40 35 084 A1  
EP 04 75 564 A1

Prospekt der Fa. Tesa 39 11.048.8508;

⑤④ Tastelement für Koordinatenmeßsysteme

⑤⑦ Tastelement zum räumlichen Abtasten der Struktur einer Probenoberfläche, mit an polygonartig angeordneten Armen angebrachten Mikrotastspitzen zur Berührungsdetektion der Struktur der abzutastenden Probenfläche über eine Erfassung der Änderung von Resonanzparametern mindestens eines Piezoresonators, dadurch gekennzeichnet, daß die polygonartig angeordneten Arme als Piezoresonatoren in Form von Stimmgabelschwingern mit gleicher oder unterschiedlicher Schenkellänge oder als Stabschwinger ausgebildet und mit an ihnen angebrachten, ebenfalls polygonartig angeordneten Mikrotastspitzen versehen sind.



DE 42 43 284 C 2

Die Erfindung betrifft ein Tastelement für Koordinatenmeßsysteme, welches insbesondere zur Oberflächenantastung bzw. dreidimensionalen Vermessung von Prüflingen kleinster Abmessungen eingesetzt werden kann.

Bekannt ist die mechanische Antastung mit Hilfe einer Tastkugel (Neumann, H. J.; Koordinatenmeßtechnik, Bibliothek der Technik, Bd. 41, Verlag moderne Industrie, München 1990). Derartige Tastelemente bieten den Vorteil, daß alle Punkte ihrer Oberfläche zu ihrem Mittelpunkt stets einen konstanten Abstand haben und sie sich auch sehr genau herstellen lassen. Die Formabweichungen der Tastkugeln sind ca. 0,3 µm. Nachteilig ist jedoch, daß die Meßergebnisse bei vielen Meßaufgaben, wie beispielsweise bei Innen- und Außenmessungen korrigiert werden müssen, da es nicht möglich ist, mit dem Mittelpunkt der Tastkugel anzutasten. Voraussetzung für die Korrektur des Meßergebnisses ist dabei die Kenntnis des Berührungspunktes auf der Tastkugel mit der Prüflingsoberfläche. Da dieser Punkt nicht bekannt ist, ist eine derartige Messung immer, wenn meistens auch nur sehr kleinen, Meßfehlern behaftet. Für Messungen an Kleinstproben sind die Abmessungen der Tastkugeln zu groß. Ein weiterer Nachteil ist, daß auf Grund der Tastkräfte von 0,1 bis 1 N am Prüfling, an der Kugel und am Tastkugelhalter Deformationen auftreten, die zu teilweise nicht korrigierbaren Meßfehlern führen.

Weiterhin ist das laterale Auflösungsvermögen einer Kugel denkbar ungünstig, weil durch die Wölbung der Kugeloberfläche und die Abplattung infolge der Meßkraft kein Meßpunkt sondern ein Meßfleck entsteht, der Durchmesser im Bereich von hundertstel mm aufweist. Die Folge hiervon ist, daß der Meßwert einen über diesen Fleck gewonnenen Durchschnittswert darstellt.

Aus den beschriebenen Gründen sind mit Tastkugeln Meßfehler unter 1 µm und Messungen an kleinsten Prüflingen, z. B. mit Innendurchmessern < 1 mm, nicht realisierbar.

Bei einem Kugeltastelement erfolgt die Meßsignalgewinnung durch Verkippen eines federnd gelagerten Tellers infolge der Antastbewegung. Ein sich hierdurch öffnender elektrischer Kontakt startet die Meßsignalgewinnung. Das Verfahren gestattet die dynamische Messung aus der Bewegung, ist aber nicht sehr genau. Deshalb werden neuerdings Kugeltaster eingesetzt, deren Stiel mit Piezoresonatoren verbunden sind, die auf Druck reagieren und die höhere Schaltgenauigkeiten gestatten.

Eine weitere Steigerung der Meßgenauigkeit kann dadurch erzielt werden, daß der Tastkopf mit eigenen 3-D-Feinverstellungen, Feinmeßsystemen und regelbaren Meßkrafteinrichtungen ausgerüstet wird, die es ermöglichen, im Stillstand des Tastkopfes die Tastkugel an der Prüflingsoberfläche antasten zu lassen und die Tastkugel kurze Längen entlang der Oberfläche zu führen (scanning).

Trotz all dieser Fortschritte bleiben die mit der Tastkugel und den Tastkräften verbundenen Nachteile bestehen.

Weiterhin sind optische Tastelemente zur Koordinatenmessung bekannt (Gussek, B.; Bartel, R.; Hoffmann, W. "Ein Mikrotaster erfaßt berührungslos Profile im optischen Tastschritt", Feinwerktechnik und Meßtechnik 98 (1990) 10, Seite 401—405). Derartige Tastelemente werden vorwiegend bei weichen Prüflingen eingesetzt.

Ihre Vorteile bestehen darin, daß sie berührungslos und kräftefrei messen und die Lage des optischen Tastpunktes im Gegensatz zur Kugel bekannt ist.

Ein geometrisch wirkendes Triangulationsverfahren weist zwar Auflösungen bis unter 0,1 µm in vertikaler Richtung auf, aber die durch die optischen Eigenschaften der Prüflingsoberfläche bedingten Meßfehler betragen bis zu mehreren Mikrometern.

Ein Autofokusverfahren, wie das obige, setzt Oberflächen mit ausreichendem Reflexionsvermögen voraus und weist in dessen Abhängigkeit ebenfalls Meßfehler bis zu mehreren Mikrometern auf. Der Durchmesser des Lichtstrahles bzw. Fokus beträgt mehrere Mikrometer und beschränkt das laterale Auflösungsvermögen dieser Systeme. Für Meßaufgaben, die ein laterales Auflösungsvermögen und Meßfehler unter 1 µm erfordern oder Meßlängen unter 1 mm für Innenmessungen aufweisen, sind die herkömmlichen Oberflächenantastverfahren der Koordinatenmeßtechnik ungeeignet. So ist das Messen von Verzahnungen mit Modul ab 0,01 mm, von Bohrungen mit Durchmesser < 1 mm, von Gewinden < M1 und von Prüflingen der Mikromechanik durch die herkömmliche 3-D-Meßtechnik nicht gelöst.

Aus der DE-PS 30 50 013 ist weiterhin ein Tastelement zum räumlichen Abtasten der Struktur einer Probenfläche in Form eines piezoelektrischen Resonanzgebers bekannt geworden, das an polygonartig angeordneten Armen angebrachte Mikrotastspitzen in Form von kleinen Kugeln zur Berührungsdetektion der Struktur der abzutastenden Probenfläche über eine Erfassung der Änderung von Resonanzparametern aufweist. Dabei sind die einzelnen Arme an einem mittleren, relativ massigen, einen Piezoresonator umgebenden Gehäuse befestigt, von dem aus sie in verschiedene Richtungen radial vorstehen.

Die zentrale Anordnung eines relativ massiven Piezoresonators in Verbindung mit relativ langen Tastarmen führt insgesamt zu einer gewissen Unempfindlichkeit dieses Tastelementes in Verbindung mit einer vergleichsweise sehr geringen Schwinggüte des Meßwertaufnehmers mit der Folge, daß Meßkräfte auftreten, die um Größenordnungen für die Anwendung bei mikromechanischen 3D-Messungen zu groß sind. Wollte man Tastspitzen, wie in den Druckschriften EP-OS 0 47 55 64 oder DE-OS 40 35 084 beschrieben sind, einsetzen, so würden diese durch die hohen Tastkräfte dieses Berührungsgabers entweder selbst zerstört werden oder die Struktur der zu prüfenden Oberfläche beim Antasten verletzen bzw. zerstören.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Tastelement zum räumlichen Abstand der Struktur einer Probenoberfläche so auszubilden, daß bei gesteigerter Meßgenauigkeit das Tastelement mit geringen Meßkräften betreibbar und auch für mikromechanische 3 D-Messungen einsetzbar ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Tastelement mit den Merkmalen im Patentanspruch 1 gelöst.

Demnach besteht die Erfindung darin, daß die polygonartig angeordneten Arme als Piezoresonatoren in Form von Stimmgabelschwingern mit gleicher oder unterschiedlicher Schenkellänge oder als Stabschwinger ausgebildet und mit an ihnen angebrachten, ebenfalls polygonartig angeordneten Mikrotastspitzen versehen sind.

Mögliches Abmaß von Stabschwingern sind dabei Querschnitte von  $10 \times 10 \mu\text{m}^2$  bei einer Länge von ca. 100 µm.

Vorteilhafte Ausgestaltungsformen sind durch die Unteransprüche 2 bis 7 gegeben. Demnach ist es von Vorteil, daß die Mikrotastspitzen als Diamanten ausgebildet sind.

Es ist vorteilhaft, daß die Mikrotastspitzen einen Spitzen-Radius  $r$  kleiner 10 nm und einen Spitzwinkel kleiner als  $90^\circ$  aufweisen.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung sind die Piezoresonatoren in Form ineinandergeschachtelter Stimmgabelschwinger ausgebildet.

Es ist weiterhin von Vorteil, daß die als Piezoresonatoren in Form von Stabschwingern ausgebildeten Arme über ein plattenförmiges Element verbunden sind, wobei sie gleichförmig um dieses herum angeordnet sind, wobei drei, vier oder sechs Arme vorgesehen sind.

Vorteilhafterweise ist zwischen Piezoresonator und Mikrotastspitzen ein passives Verbindungselement angeordnet, das eine sich zu den Mikrotastspitzen hin verjüngende oder zylindrische Form aufweist.

Bedingt durch die Verwendung mehrerer Tastspitzen erfährt beim Anmessen einer Probenfläche mindestens eine Testnadel Kontakt mit der Oberfläche. Der Kontakt wird festgestellt, indem in an sich bekannter Weise entweder die Änderung der Resonanzparameter oder die Berührungskräfte gemessen werden. Um die Stellen der Antastung genau zu definieren, muß die Lage der Tastspitzen am Tastelement bekannt sein, wozu ein auch bei Kugeltastelementen bekanntes Kalibrierverfahren mit Hilfe einer Eichkugel Anwendung finden kann.

Durch die Gestaltung des Tastelementes unter Verwendung von Mikrotastspitzen wird eine definierte Punktantastung realisiert. Gleichzeitig werden die Tastkräfte gegenüber einer undefinierten Kugelantastung um den Faktor  $10^{10}$  auf ca.  $10^{-8}$  N verringert.

Da die Schwingungsamplituden der Resonatoren je nach geometrischer Form im Bereich Angström bis Nanometer liegen, ist es zum sicheren Anfahren einer Oberfläche wichtig, ein Vorwarnsignal auswerten zu können, um beispielsweise die Anfahrgeschwindigkeit zu verringern. Hierbei kann auf an sich bekannte anordnungs- bzw. verfahrenstechnische Lösungen zurückgegriffen werden, indem beispielsweise ein zusätzlicher optischer Indikator verwendet wird. Es ist auch möglich, die im Medium Luft zwischen Tastspitze und Prüflingsoberfläche bei Spaltbreiten von Mikrometern wirkenden akustischen Koppel-effekte als Vorwarnsignal auszunutzen. Sie bewirken ebenfalls eine Änderung der Resonanzparameter des Piezoresonators.

Das erfindungsgemäße Tastelement soll nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Dazu zeigt

Fig. 1: 3D-Tastelement

Fig. 2: 3D-Tastelement aus Piezoresonatoren in Form einer Stimmgabelschwingeranordnung

Fig. 3: 3D-Tastelement aus Piezoresonatoren in Form von Torsions- und/oder Longitudinalschwingern

Fig. 4: 3D-Tastelement aus Piezoresonatoren in Form von Stabschwingern mit polygonartigen Mikrotastspitzen und passivem Verbindungselement

Fig. 5: 3D-Tastelement (dreifach)

Fig. 6: 3D-Tastelement (sechsfach)

Fig. 7: 3D-Tastelement (vierfach).

Fig. 1 zeigt das erfindungsgemäße Tastelement, bestehend aus fünf an einem Stab 1 polygonartig angeordneten Mikrotastspitzen 2, wobei die Mikrotastspitzen 2 jeweils auf nicht dargestellten Piezoresonatoren befestigt sind. Die Annäherung des Tastelementes an die

Probenoberfläche erfolgt mittels eines, mit Ansteuer-elektroden versehenen, Piezorohres 8.

Ein als Tastelement dienender Piezoresonator in Form einer Stimmgabelschwingeranordnung ist in Fig. 2 dargestellt. Durch Ineinanderrücken zweier verschiedener Stimmgabelschwinger 3 und 4 wird ein Piezoresonator gewonnen, wobei jeder der Stimmgabelschwinger 3 und 4 mit mindestens einer Mikrotastspitze 2 bestückt ist.

Auf Grund der unterschiedlichen Gestalt der Stimmgabelschwinger 3 und 4 ist eine einfache Zuordnung des Tastsignals zu einem diametralen Tastspitzenpaar möglich. Derartige Ausführungsformen sind sowohl für Innen- als auch für Außenmessungen einsetzbar.

Da Piezoresonatoren photolithographisch in sehr kleinen Abmessungen bestellbar sind, lassen sich mit ihrer Hilfe beispielsweise Bohrungswanderungen mit Durchmesser  $< 1$  mm vermessen.

Fig. 3 zeigt ein 3D-Tastelement aus Piezoresonatoren in Form von Stabschwingern, wobei jeder Stabschwinger 5 mit mindestens einer Mikrotastspitze 2 bestückt ist und je nach Elektrodenanordnung als Longitudinal- oder als Torsionsschwinger eingesetzt werden kann. Der Vorteil derartiger Ausgestaltungsformen liegt darin, daß neben der Realisierbarkeit einer besonders kleinen Bauweise eine Berührungsdetektion in drei Koordinaten pro Stabschwinger möglich ist.

Fig. 4 zeigt ein 3D-Tastelement aus Piezoresonatoren in Form von Stabschwingern mit polygonartiger Mikrotastspitze 2, wobei zwischen dem Stabschwinger 5 und den Mikrotastspitzen 2 ein sich in Richtung der Mikrotastspitze 2 verjüngendes passives Verbindungselement 6 zwischengelagert ist. An jedem Verbindungselement 6 befinden sich polygonartig angeordnete Mikrotastspitzen 2. Eine derartige Gestaltungsmöglichkeit des Tastelementes, welches ebenfalls als Longitudinal- oder als Torsionsschwinger eingesetzt werden kann, eignet sich besonders für Messungen kleinster Innenmaße, wobei eine Berührungsdetektion in drei Koordinaten pro Stabschwinger 5 vorgenommen werden kann.

In den Fig. 5, 6 und 7 werden Ausführungsformen des Tastelementes aufgezeigt, bei denen auf Grund der Kristallographie piezoelektrischer Materialien aus einem plattenförmigen Element 7 drei um  $120^\circ$  (Fig. 5), sechs um  $60^\circ$  (Fig. 6) bzw. vier um  $90^\circ$  (Fig. 7) versetzt orientierte Stab- oder Stimmgabelschwinger 5 gewonnen werden an denen jeweils in den Figuren nicht dargestellte Mikrotastspitzen angeordnet sind.

#### Patentansprüche

1. Tastelement zum räumlichen Abtasten der Struktur einer Probenoberfläche, mit an polygonartig angeordneten Armen angebrachten Mikrotastspitzen zur Berührungsdetektion der Struktur der abzutastenden Probenfläche über eine Erfassung der Änderung von Resonanzparametern mindestens eines Piezoresonators, dadurch gekennzeichnet, daß die polygonartig angeordneten Arme als Piezoresonatoren in Form von Stimmgabelschwingern mit gleicher oder unterschiedlicher Schenkellänge oder als Stabschwinger ausgebildet und mit an ihnen angebrachten, ebenfalls polygonartig angeordneten Mikrotastspitzen versehen sind.

2. Tastelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Mikrotastspitzen (2) Diamanten sind.

3. Tastelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, daß die Mikrotastspitzen (2) ein Spitzen-Radius  $r$  kleiner 10 nm und einen Spitzwinkel kleiner als  $90^\circ$  aufweisen.

4. Tastelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Piezoresonatoren in Form ineinandergeschachtelter Stimmgabelschwinger ausgebildet sind. 5

5. Tastelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die als Piezoresonatoren in Form von Stabschwingern ausgebildeten Arme über ein plattenförmiges Element verbunden sind, wobei sie gleichförmig um dieses herum angeordnet sind. 10

6. Tastelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß drei, vier oder sechs Arme vorgesehen sind. 15

7. Tastelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Piezoresonator und Mikrotastspitzen (2) ein passives Verbindungselement angeordnet ist, das eine sich zu den Mikrotastspitzen (2) hin verjüngende oder zylindrische Form aufweist. 20

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

25

30

35

40

45

50

55

60

65

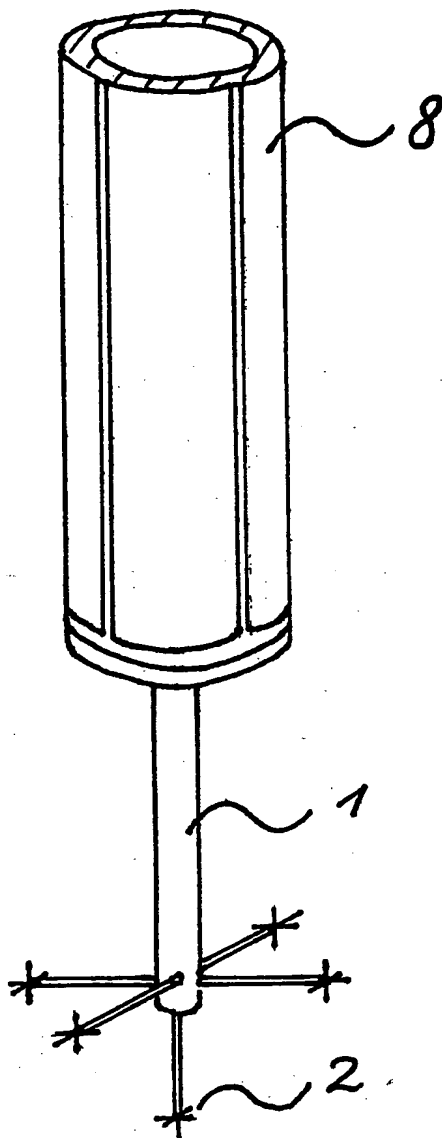


Fig. 1

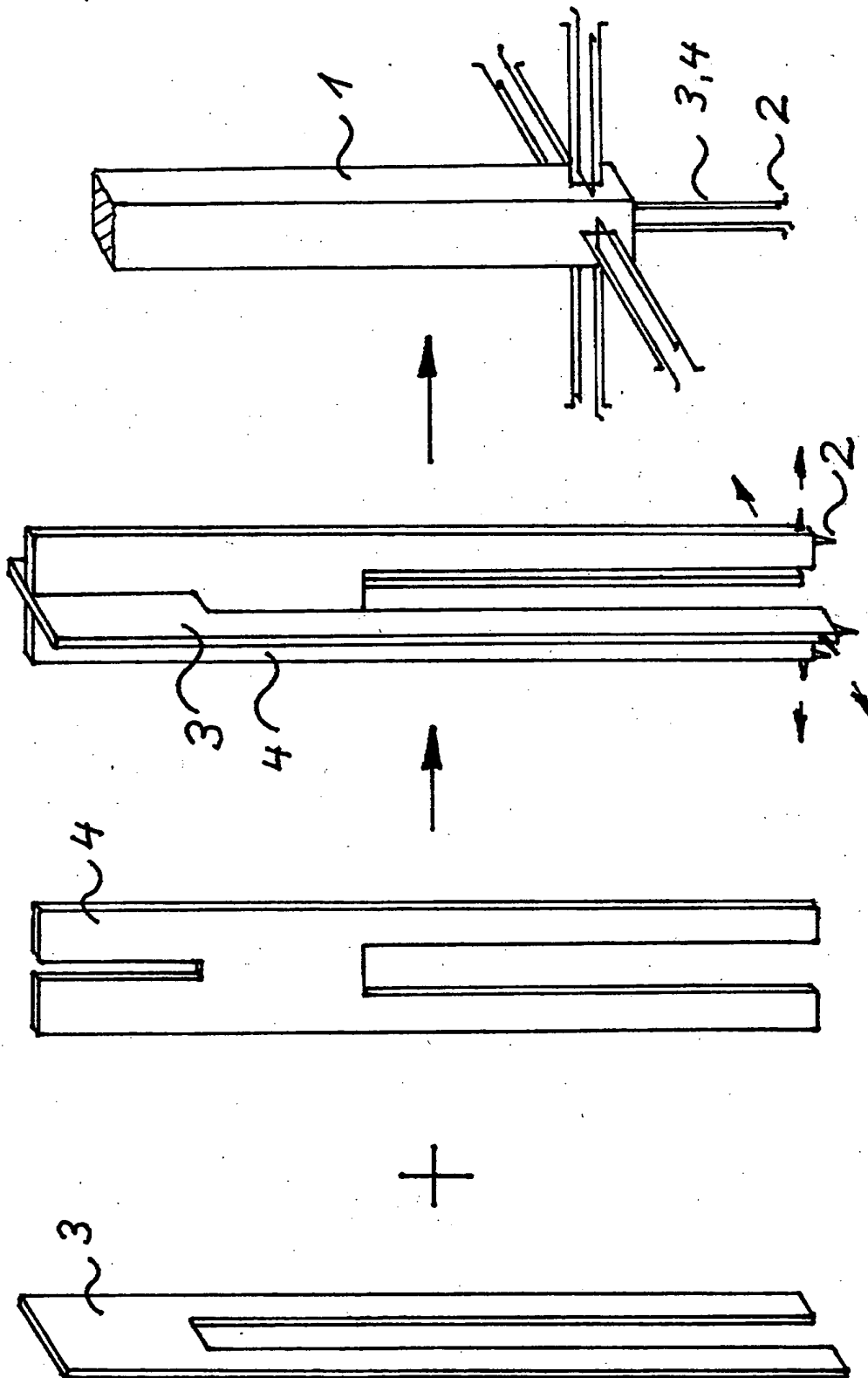


Fig. 2

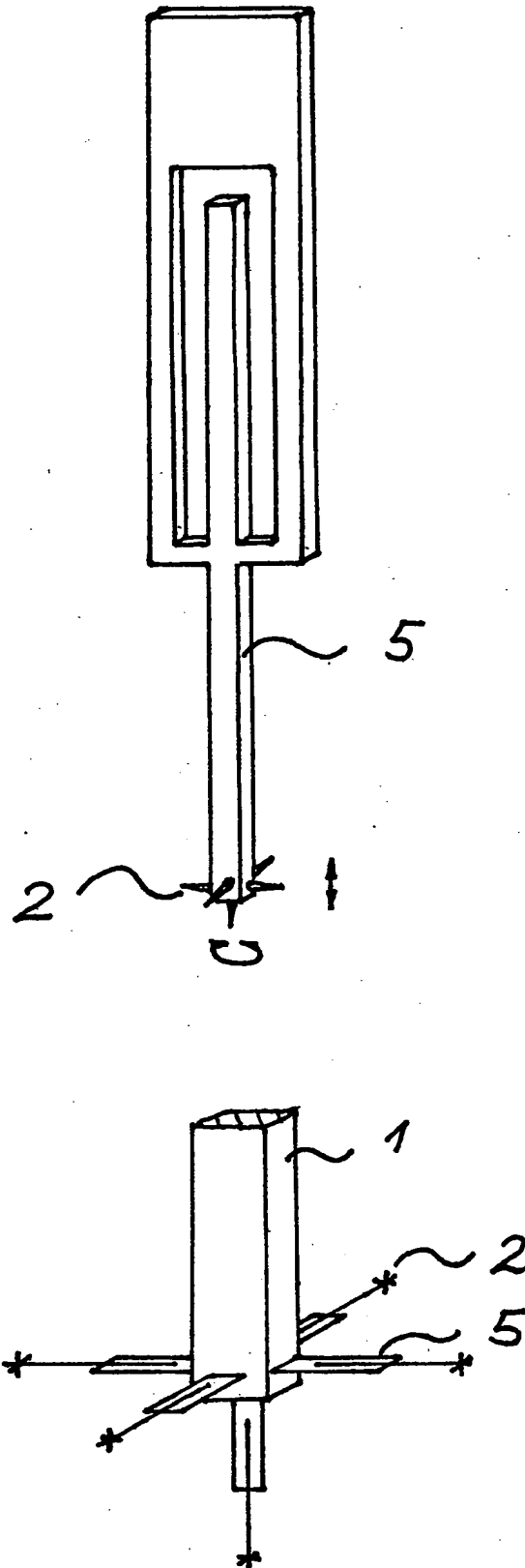


Fig. 3

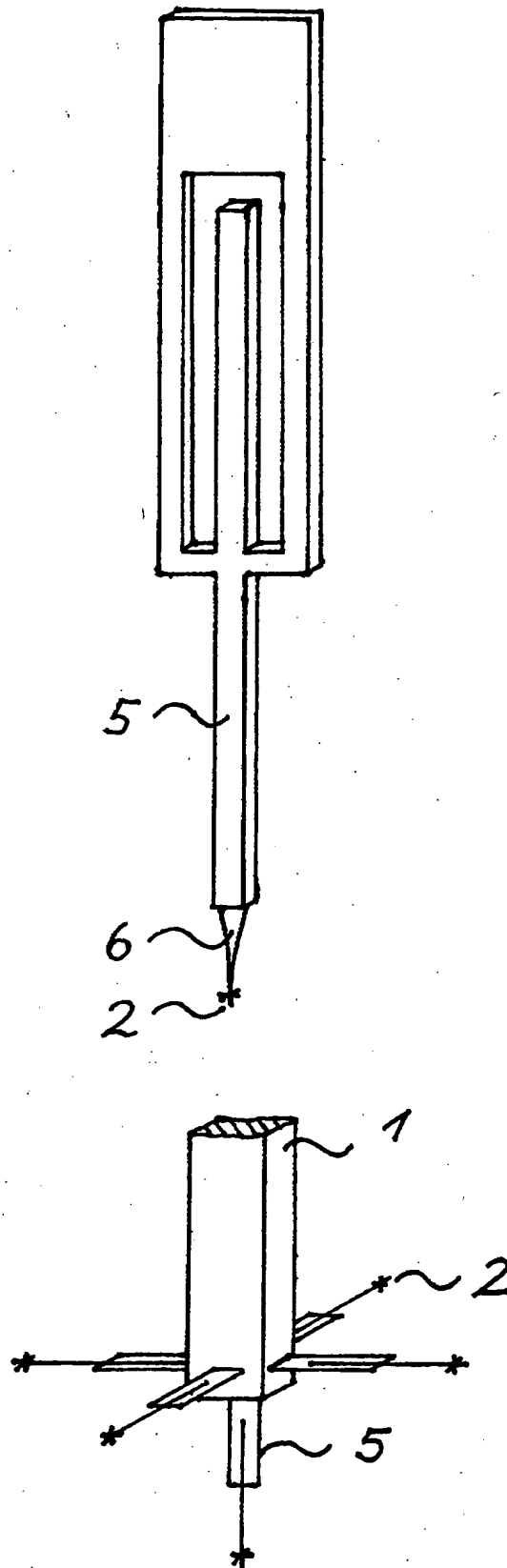


Fig. 4



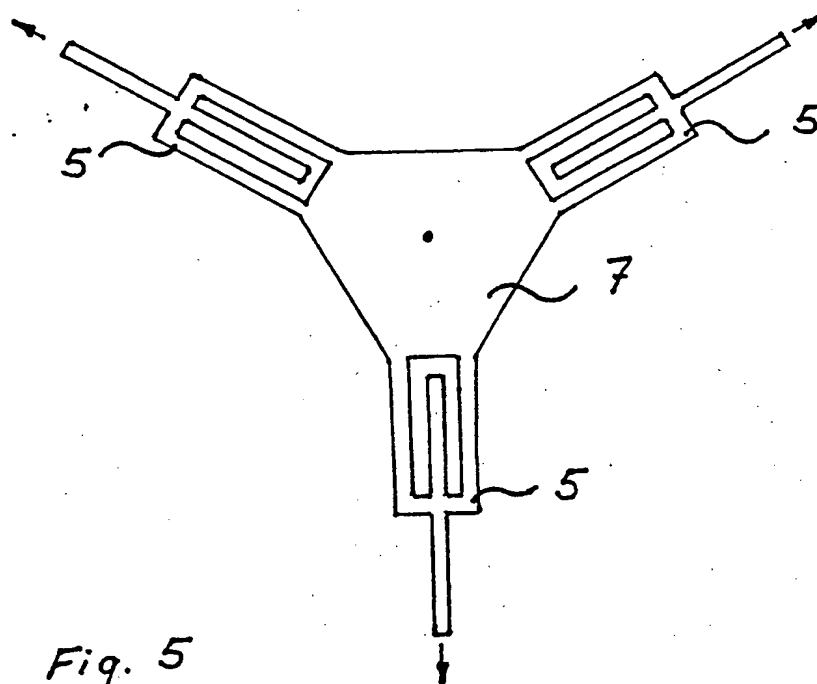


Fig. 5

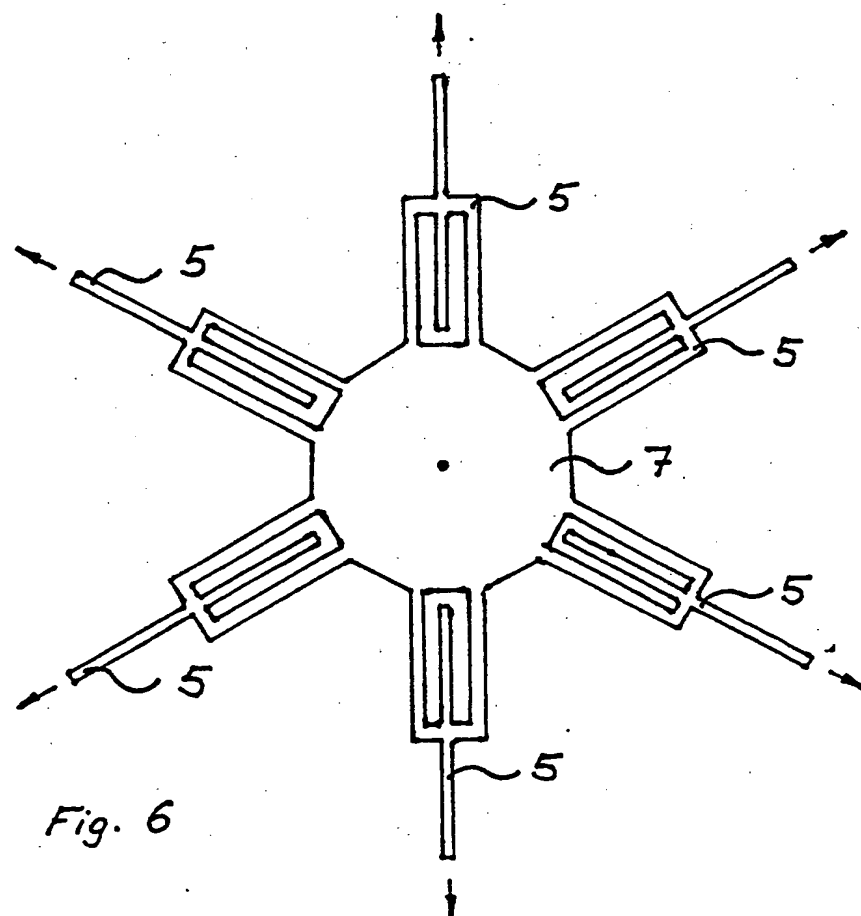


Fig. 6

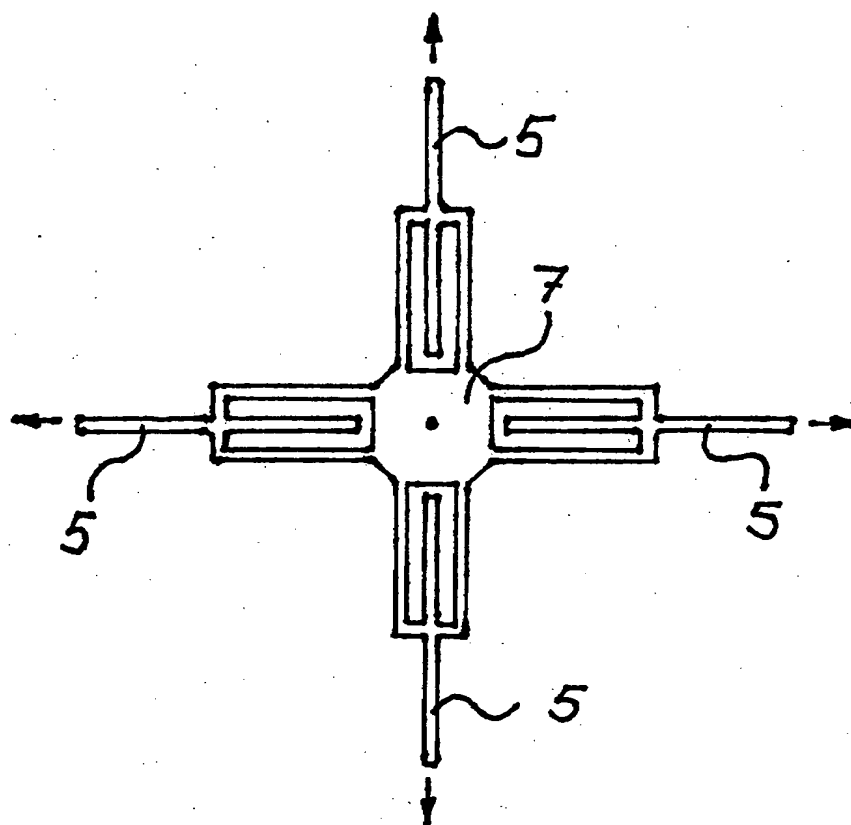


Fig. 7